

Sintesis dan Optimasi Sifat Fotoluminesens Fosfor BCNO/ SiO₂ dengan Modifikasi Sumber Karbon

Triannisa Julia Dian Anggreani^{1*}, Bambang Sunendar Purwasasmita^{1,2}, Ahmad Nuruddin^{1,2}

¹Laboratorium Pemrosesan Material Maju, Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Indonesia

²Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Indonesia

* Penulis Penanggungjawab. E-mail: triannisa.julia@gmail.com
Telp/hp: 081221686677

ABSTRAK

Dalam penggunaannya sebagai *light emitting diode* (LED) putih, fosfor Boron Carbon Oxy-Nitride Silika (BCNO/SiO₂) terus dikembangkan sebagai alternatif penggunaan fosfor dengan oksida tanah jarang. Pada penelitian ini dilakukan proses sintesis fosfor BCNO/SiO₂ dengan memanfaatkan bahan-bahan alam yang mudah ditemukan di Indonesia. Prekursor yang digunakan meliputi asam borat sebagai sumber boron dan urea sebagai sumber nitrogen, sedangkan sebagai sumber karbon digunakan pati dari tepung tapioka dan selulosa yang diekstraksi dari tanaman rami. Sintesis material fosfor BCNO/SiO₂ dilakukan dengan metode *sol-gel* dengan perbandingan molar Nitrogen/Boron sebesar 20, dan komposisi karbon 3% dan 10% wt. Nanopartikel silika kemudian ditambahkan dengan perbandingan 3% wt. Kalsinasi dilakukan pada suhu 600°C selama 60 menit dalam kondisi tekanan atmosfer. Dengan penyinaran sinar UV didapatkan hasil bahwa pendaran dengan intensitas paling tinggi terjadi pada fosfor BCNO/SiO₂ yang disintesis dengan sumber karbon pati dengan kandungan 100% wt dan nanopartikel silika 200 nm, dan juga fosfor BCNO/SiO₂ yang disintesis dengan sumber karbon pati dengan kandungan 3% wt dan nanopartikel silika 50 nm dan 200 nm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material fosfor alternatif yang

disintesis dengan cara sederhana dan temperatur rendah dapat menjadi kandidat yang menjanjikan untuk LED putih.

Kata Kunci: *Boron Carbon Oxy-Nitride (BCNO)*; nanopartikel silika; selulosa; LED putih

ABSTRACT

Within its usage for white light emitting diode (white-LED), Boron Carbon Oxy-Nitride Silica (BCNO/SiO₂) phosphor is continuously being developed as an alternative to rare-earth oxide phosphor. In this research, the synthesis of BCNO/SiO₂ phosphor is done by the use of natural resources that are easily found in Indonesia. The precursors used are boric acid as boron source, urea as nitrogen source, and starch from tapioca flour and cellulose extracted from ramie as carbon source. The synthesis process is carried out by sol-gel method with molar ratio of Nitrogen/Boron 20, and carbon composition 3% and 10% wt. Calcination process is carried out at 600°C temperature for 60 minutes under atmospheric pressure condition. Upon illumination under UV rays, the highest intensity occurred in the BCNO/SiO₂ phosphor that was synthesized with 10% wt starch as carbon source and 200 nm silica nanoparticles, and in the BCNO/SiO₂ phosphor that was synthesized with 3% wt starch as carbon source and silica nanoparticles with 50 nm and 200 nm in size. The outcome of this research showed that alternative phosphor material that was synthesized using facile method under low temperature could be a promising candidate for white-LED.

Keywords: Boron Carbon Oxy-Nitride (BCNO); silica nanoparticles; cellulose; white-LED.

1. Pendahuluan

Permasalahan terkait pemanfaatan energi yang efisien merupakan salah satu permasalahan yang menjadi perhatian di dunia saat ini. Pada bidang pencahayaan dan teknologi penerangan, sumber pencahayaan konvensional seperti lampu pijar dan fluoresens merupakan contoh pemanfaatan energi yang kurang efisien. Sumber pencahayaan konvensional bergantung pada pemanasan atau pelepasan gas, hal ini menyebabkan kerugian energi yang cukup besar dalam bentuk pelepasan panas. Sebagai salah satu alternatif sumber pencahayaan yang efisien, *solid-state lighting* (SSL) atau pencahayaan *solid-state* saat ini banyak digunakan. Pencahayaan *solid-state* memberikan beberapa kelebihan dibandingkan sumber pencahayaan konvensional, antara lain meliputi efisiensi pencahayaan yang tinggi, penghematan energi, ramah lingkungan, dan umur hidup yang lebih panjang [1]. Pencahayaan *solid-state* menggunakan LED (*light-emitting diode*), OLED (*organic light-emitting diode*), maupun PLED (*polymer light-emitting diode*) sebagai sumber penghasil cahaya.

Salah satu karakteristik penting dari pencahayaan adalah *color rendering* yang menunjukkan keaslian warna

dari suatu objek ketika dipaparkan suatu sumber cahaya tertentu. *Color rendering* bergantung dari spektrum sumber cahaya, oleh karena itu sumber cahaya berwarna putih menjadi penting dalam permasalahan kebutuhan pencahayaan [2]. Untuk menghasilkan cahaya putih dengan menggunakan sumber cahaya LED, dapat dilakukan dengan mengombinasikan LED berwarna merah, hijau, dan biru; menggunakan LED UV/biru dan fosfor RGB (*red-green-blue*)/fosfor kuning.

Fosfor yang digunakan pada LED putih berbasis fosfor umumnya terdiri dari material host inorganik yang di-doping dengan elemen aktif secara optik. Material host umumnya adalah *garnet*, misalnya Yttrium Aluminum Garnet (YAG). Elemen aktif biasanya dibuat dari elemen tanah-jarang, oksida tanah-jarang, maupun bahan tanah-jarang lain, contohnya adalah Cerium (Ce). Selain sulit untuk memurnikan elemen tanah-jarang ini, sintesis fosfor dari elemen ini juga membutuhkan energi yang tinggi. Sebagai contoh, sintesis fosfor YAG:Ce dari yttria dan oksida cerium memerlukan temperatur sintering sebesar 1300°C dan 1500°C [3].

Kebutuhan penggunaan energi tinggi dalam proses sintesis fosfor merupakan permasalahan yang ingin diatasi oleh para peneliti. *Carbon-*

based boron oxynitride atau BCNO merupakan salah satu material fosfor alternatif yang saat ini banyak diteliti karena proses sintesisnya menggunakan energi yang relatif lebih rendah (temperatur sintering kurang dari 900°C) [4].

Fosfor BCNO memiliki beberapa keunggulan dibandingkan fosfor YAG:Ce yaitu tidak memerlukan tambahan oksida logam tanah jarang sebagai aktivator, proses sintesis yang lebih sederhana dan temperatur pemrosesan yang relatif rendah di bawah kondisi atmosferik. Beberapa penelitian yang telah dilakukan juga telah menunjukkan bahwa rentang emisi dari fosfor ini mudah disesuaikan dengan mengubah kadar berat karbon di dalamnya [5].

BCNO merupakan sebutan untuk material yang memiliki h-BN atau *hexagonal Boron-Nitride* sebagai material *host* dan karbon sebagai ion aktivator. Untuk meningkatkan efisiensi luminesens dari material fosfor BCNO, telah banyak dilakukan penelitian dengan memodifikasi komponen-komponen penyusunnya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Faryuni tahun 2014, penambahan nanopartikel SiO₂ sebagai ion pengotor atau yang disebut juga dengan *sensitizer*, menyebabkan terjadinya homogenitas ukuran

terjadinya homogenitas ukuran partikel BCNO/SiO₂ yang dihasilkan dari proses sintesis. Homogenitas ukuran partikel BCNO/SiO₂ ini nantinya berpengaruh pada peningkatan distribusi spasial spektrum luminesens serta meningkatkan *quantum yield* fosfor [6].

Pada tahun 2013 dan 2014, Alfatika dan Nuryadin masing-masing mengajukan pati dari tapioka dan asam sitrat sebagai alternatif sumber karbon sebagai pengganti PEG yang digunakan Wang dan Faryuni. Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan karbon dengan struktur molekular yang lebih sederhana mengurangi pembentukan residu karbon pada BCNO/SiO₂. Residu karbon menyebabkan pengurangan intensitas fotoluminesens fosfor [7][8].

Di tahun 2015, Satria melakukan modifikasi dari penelitian yang dilakukan Alfatika dan mendapatkan bahwa struktur heksagonal BCNO/SiO₂ didapatkan optimum pada konsentrasi boron 2,8 M dan komposisi sumber karbon 1% [9]. Tahun 2016, Yudhistira berhasil membuat fosfor BCNO/SiO₂ dengan menambahkan kitosan sebagai dispersan ke dalam prekursor silika sehingga menghasilkan nanopartikel silika. Dari penelitian yang dilakukan,

didapatkan kesimpulan bahwa ukuran partikel fosfor yang terbentuk berpengaruh pada intensitas fotoluminesens fosfor tersebut [10]. Selanjutnya pada tahun 2017, Adinegoro melakukan penelitian untuk melihat pengaruh perlakuan kalsinasi dan komposisi nanoselulosa sebagai sumber karbon terhadap puncak spektrum emisi dan intensitas fotoluminens dari fosfor BCNO/SiO₂. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa terjadi penurunan intensitas seiring dengan peningkatan komposisi karbon dalam fosfor BCNO/SiO₂ dan perlakuan kalsinasi pada sampel. Perlakuan kalsinasi memungkinkan terjadinya penurunan komposisi anion BO₂⁻ menjadi produk B₂O₃ [11].

Dari beberapa penelitian yang telah disebutkan diatas, didapatkan beberapa parameter yang berpengaruh dalam optimasi performa fosfor BCNO, antara lain penambahan partikel SiO₂ sebagai sensitizer, ukuran partikel SiO₂ yang akan mempengaruhi ukuran partikel fosfor beserta homogenitasnya, komposisi karbon dalam fosfor BCNO/ SiO₂, serta perlakuan kalsinasi pada fosfor.

Beberapa sumber karbon telah diteliti dalam pembuatan fosfor BCNO seperti polyethylene/tetraethylene/

seperti polyethylene/tetraethylene/ethylene glycol (PEG/EG/TEG) [6][12][13], asam sitrat [14][15], pati dari tapioka [10], dan nanoselulosa dari tanaman tebu [11]. Pada penelitian ini akan digunakan selulosa yang bersumber dari tanaman rami (*Boehmeria nivea*) sebagai sumber karbon dari fosfor BCNO/SiO₂. Selulosa merupakan polimer alam yang jumlahnya berlimpah di Indonesia. Penggunaan selulosa dari tanaman rami belum pernah dilakukan sebelumnya dalam penelitian fosfor BCNO/SiO₂, hal ini merupakan originalitas dari penelitian ini. Selain itu, penggunaan selulosa dari tanaman rami dalam penelitian juga merupakan salah satu upaya untuk memanfaatkan bahan alam yang jumlahnya berlimpah di Indonesia.

Fosfor BCNO/SiO₂ pada penelitian dibuat dengan memperhatikan variasi dan kadar berat sumber karbon, ukuran nanopartikel silika sebagai sensitizer, serta pengaruh kalsinasi terhadap fosfor BCNO/SiO₂ yang dihasilkan. Variasi sumber karbon berasal dari penggunaan pati dari tapioka dan selulosa dari tanaman rami. Kadar berat sumber karbon yang akan digunakan dilihat dari perbandingan massa antara sumber karbon terhadap massa total dengan asam borat dan urea. Kadar berat sumber karbon ini nantinya akan

mempengaruhi band gap fosfor pada nilai yang tepat untuk eksitasi [16] dan juga akan mempengaruhi panjang gelombang puncak emisi dari pendaran fosfor BCNO/SiO₂ ketika disinari UV [12].

Peran silika pada fosfor BCNO/SiO₂ juga penting karena dapat meningkatkan homogenitas sifat fotoluminesens dengan pemeratakan aliran panas ke seluruh spesimen sehingga pertumbuhan partikel BCNO/SiO₂ menjadi lebih homogen [6]. Pada penelitian ini akan dilakukan proses sintesis nanopartikel silika dengan metode presipitasi biasa dan proses Stöber untuk kontrol ukuran partikel silika. Ukuran partikel silika berperan penting dalam menjaga ukuran dari partikel BCNO/SiO₂ sehingga diasumsikan bahwa semakin kecil ukuran partikel silika maka fotoluminesens dari fosfor BCNO/SiO₂ terbentuk akan semakin baik sebagai akibat dari peningkatan distribusi spasial spektrum luminesens dan peningkatan *quantum yield* fosfor. Kalsinasi juga memegang peran penting dalam sintesis fosfor dimana semakin tinggi suhu kalsinasi maka kristalinitas fosfor menjadi semakin tinggi dan sifat fotoluminesens-nya juga menjadi semakin baik, dengan catatan suhu kalsinasi di bawah 900°C agar tidak terjadi perubahan struktur

agar tidak terjadi perubahan struktur ikatan dalam fosfor [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi sifat fotoluminesens dari fosfor yang dibuat dengan sumber karbon pati yang berasal dari tapioka dan selulosa yang berasal dari tanaman rami dengan mengoptimalkan pengaruh-pengaruh di atas yang telah dipelajari dari penelitian-penelitian sebelumnya. Sasaran dari penelitian ini adalah menghasilkan fosfor BCNO/SiO₂ silika dengan morfologi dan sifat fotoluminesens yang optimum dengan memanfaatkan bahan baku yang ketersediaannya besar, proses sintesis yang mudah, dan lebih ekonomis, sehingga diharapkan penelitian ini dapat menjadi sumbangan yang bermanfaat untuk perkembangan penelitian material fosfor BCNO/SiO₂.

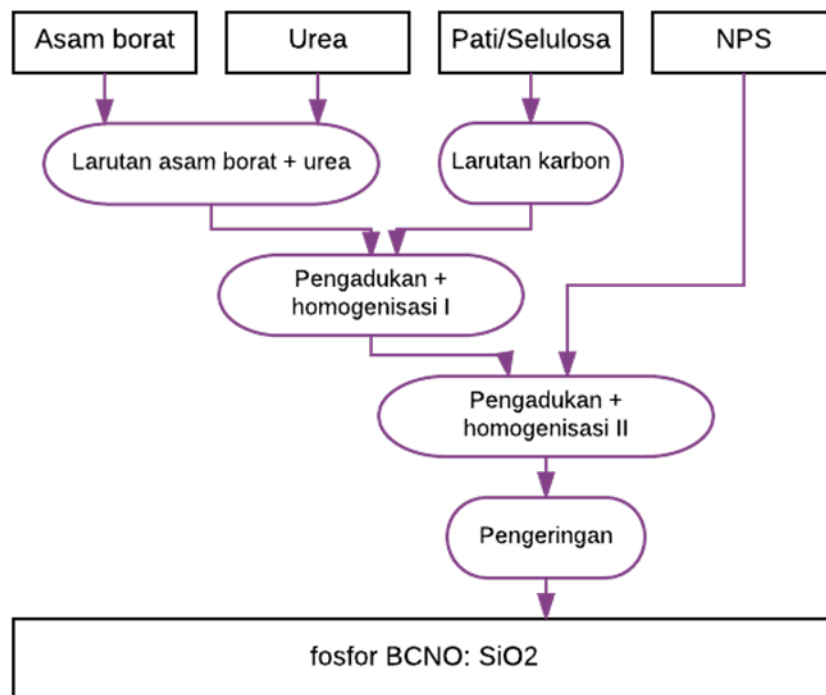
Sintesis fosfor BCNO/SiO₂ dilakukan dengan metode sol-gel dengan prekursor tapioka, tanaman rami, asam borat (H₃BO₃), urea ((NH₂)₂CO), sodium silikat (Na₂SiO₃), dan TEOS. Metode sol-gel dipilih karena dapat menghasilkan partikel fosfor berukuran sub-mikron hingga nano dengan kontrol morfologi serta homogenitas yang baik.

2. Bahan dan Metode

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi serat tanaman rami, kitosan, natrium silikat (Na_2SiO_3), TEOS, asam borat ($\text{H}_3(\text{BO})_3$), dan urea. Pertama-tama dilakukan preparasi prekursor sumber karbon dan silika. Sumber karbon pati didapatkan langsung dari tapioka, sedangkan sumber karbon selulosa didapatkan dengan ekstraksi dari tanaman rami. Preparasi nanopartikel silika dilakukan dengan dua cara yaitu metode presipitasi biasa dengan menggunakan Na_2SiO_3 dan metode Stöber dengan menggunakan TEOS, diharapkan kedua metode ini memberikan nanopartikel silika dengan ukuran partikel yang berbeda sehingga dapat

diamati pengaruh besar partikel silika BCNO/ SiO_2 terhadap fosfor yang dihasilkan.

Isolasi selulosa dari rami dilakukan dengan metode hidrolisis asam dengan terlebih dahulu dilakukan preparasi bahan mentah tanaman rami dengan pencucian, perendaman, pengeringan, dan penghalusan serat. Serat halus rami kemudian diekstraksi selulosanya dengan menggunakan asam nitrat HNO_3 3,5%, NaOH 2% dan Na_2SO_3 2%; juga *bleaching* dengan NaOCl 1,75% dan H_2O_2 10%. Selama proses dilakukan juga kontrol temperatur dengan menggunakan *magnetic stirrer* yang dilengkapi dengan *heater*.



Gambar 1 Diagram metode pembuatan fosfor BCNO/ SiO_2

Sintesis fosfor BCNO/SiO₂ dilakukan dengan preparasi larutan asam borat dan urea 2,8 M yang kemudian ditambahkan karbon yang berasal dari pati/selulosa dengan komposisi massa 10% dan 3%. Terakhir dilakukan perlakuan kalsinasi

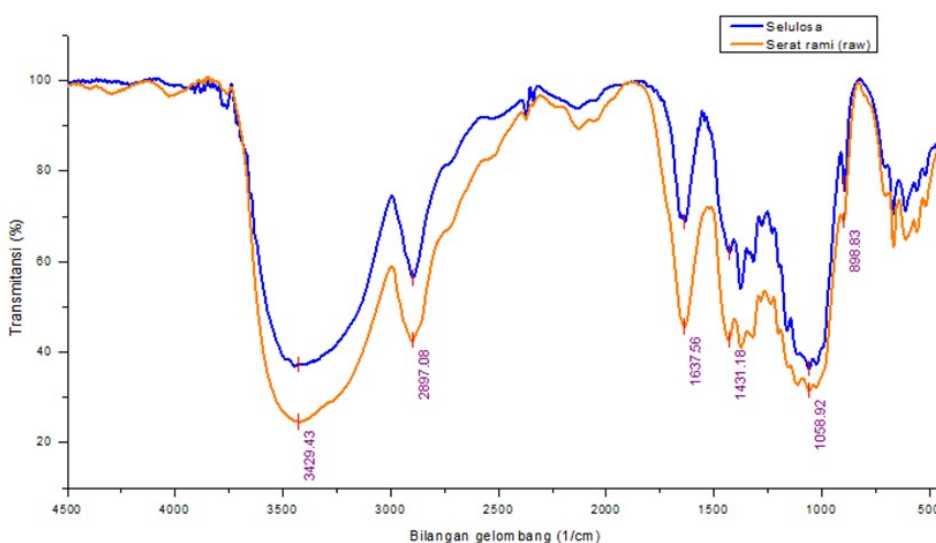
pada tungku bakar dengan temperature 650°C selama 1 jam.

3. Hasil dan Pembahasan

Spektrum FTIR dari sampel serat rami dan selulosa hasil ekstraksi ditampilkan pada **Gambar 2**.

Tabel 1 Penamaan sampel fosfor BCNO/SiO₂

Kode Sampel	Sumber Karbon	Persentase Masa Karbon (%)	Nanopartikel Silika	Perlakuan Kalsinasi
1	Selulosa	10	NPS 1	Tidak
2	Selulosa	10	NPS 2	Tidak
3	Pati	10	NPS 1	Tidak
4	Pati	10	NPS 2	Tidak
5	Pati	3	NPS 1	Tidak
6	Pati	3	NPS 2	Tidak
7	Selulosa	3	NPS 1	Tidak
8	Selulosa	3	NPS 2	Ya
1C	Selulosa	10	NPS 1	Ya
2C	Selulosa	10	NPS 2	Ya
3C	Pati	10	NPS 1	Ya
4C	Pati	10	NPS 2	Ya
5C	Pati	3	NPS 1	Ya
6C	Pati	3	NPS 2	Ya
7C	Selulosa	3	NPS 1	Ya
8C	Selulosa	3	NPS 2	Ya



Gambar 2 Spektrum FTIR sampel serat rami dan selulosa yang diekstraksi

Dari spektrum FTIR yang didapatkan, dapat dilihat bahwa terjadi absorpsi pada sekitar 1430 cm^{-1} yang menunjukkan allomorf selulosa tipe I. Selain itu, terdapat pita absorpsi yang lebar pada sekitar 3420 cm^{-1} yang menandakan penguluran gugus fungsi O-H pada kedua sampel. Absorpsi pada sekitar 2900 cm^{-1} menandakan penguluran gugus fungsi C-H. Sedangkan absorpsi pada sekitar 1375, 1160, dan 1030 cm^{-1} bersesuaian dengan deformasi C-H, C-O-C, dan C-O; atau vibrasi ulur dari gugus-gugus yang berbeda pada karbohidrat [17][18].

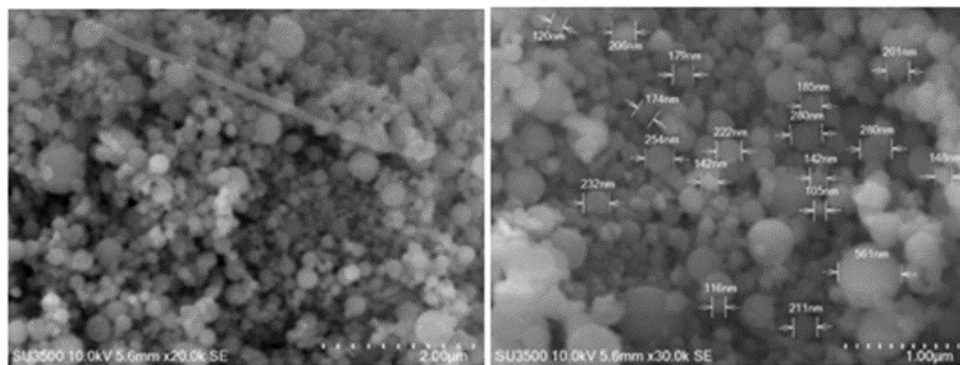
Keterangan lebih lanjut mengenai gugus-gugus yang bersesuaian dengan puncak absorpsi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Pengurangan lignin dikatakan berhasil dilakukan, yang ditandai dengan terjadinya penyerapan gugus fungsi C=C pada sekitar 1632 cm^{-1} . Karakteristik *native cellulose* ditunjukkan pada rentang di sekitar bilangan gelombang (*wavenumber*) 1432, 1370, 1319, dan 900 cm^{-1} [18][19][20].

Selanjutnya, metode presipitasi dengan natrium silikat menghasilkan nanopartikel silika seperti yang terlihat pada **Gambar 3**.

Tabel 2 Gugus-gugus fungsi pada serat rami dan selulosa yang diekstraksi

Ramie		Selulosa		Keterangan
Puncak	%T	Puncak	%T	
3421	24.6	3429	37.2	Penguluran gugus bebas -OH
2900	42.6	2897	56.4	Penguluran ikatan C-H
1637	45.6	1637	68.8	Penekukan -OH dan absorpsi air
1433	42.6	1429	61.9	Deformasi gugus C-H
1375	41.0	1377	53.9	Ikatan C-H & C-O pada cincin aromatik polisakarida
1321	32.9	1317	59.9	Vibrasi skeletal C-C dan C-O
1153	36.7	1161	44.8	Peregangan ikatan asimetrik C-O Pengurangan C-C ring breathing band akibat hidrolisis
1026	32.2	1026	37.4	Peregangan gugus C-O
898	69.0	894	75.8	Ikatan β -glikosidik pada selulosa



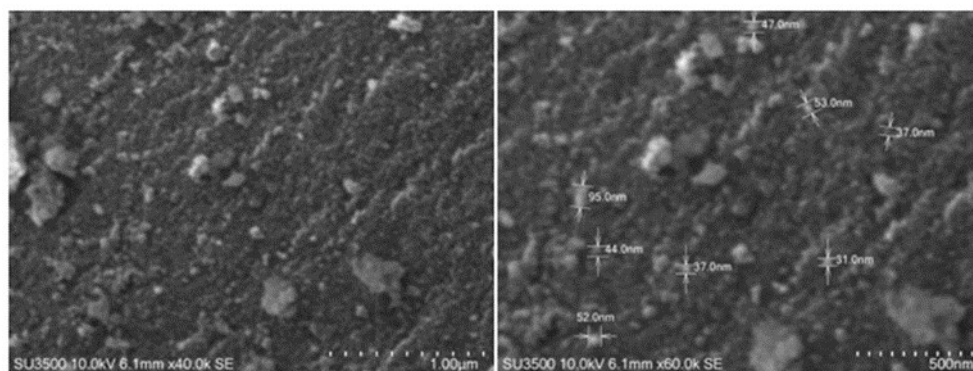
Gambar 3 Citra NPS 1 dari karakterisasi SEM

Dari hasil perekaman citra dari karakterisasi SEM, nanopartikel silika yang terbentuk dari sintesis dengan metode presipitasi memiliki bentuk bola. Selain partikel silika berbentuk bulat, terdapat pula partikel dengan bentuk panjang dan ramping yang diperkirakan adalah partikel kitosan yang digunakan sebagai dispersan pada metode presipitasi. Dengan perbesaran 30000 \times , dari citra perekaman karakterisasi SEM dapat dilihat ukuran dari nanopartikel silika yang terbentuk. Ukuran rata-rata nanopartikel silika terbentuk adalah sekitar 200 nm. Selanjutnya, nanopartikel silika yang dihasilkan dari metode Stöber dapat dilihat pada Gambar 4.

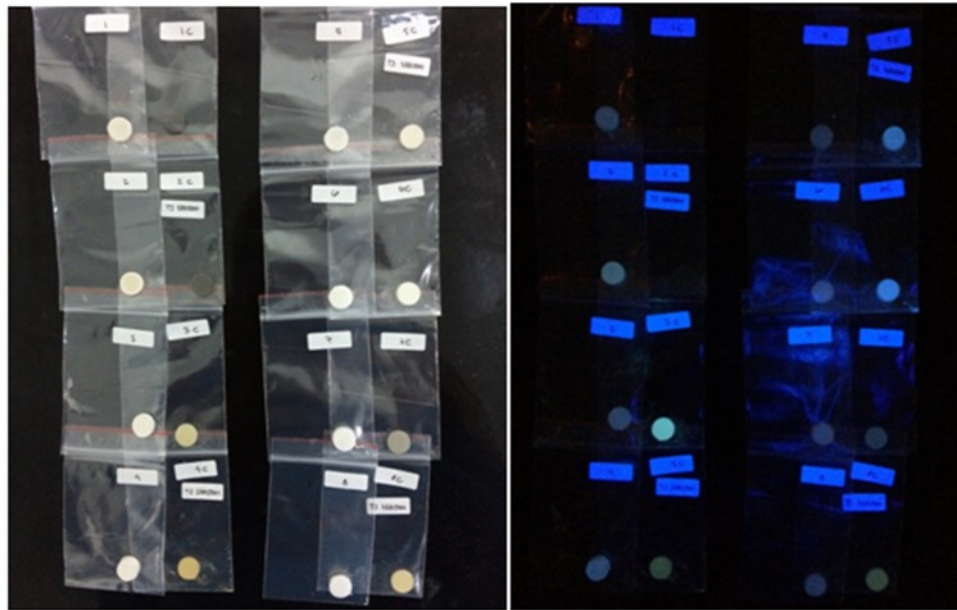
Partikel silika yang terbentuk terlihat berbentuk bola dengan ukuran yang lebih kecil dan lebih terdispersi

daripada partikel silika yang disintesis dengan menggunakan metode presipitasi. Kontrol ukuran yang lebih baik dari metode Stöber dapat disebabkan oleh katalis ammonia yang digunakan pada proses sintesis. Ukuran partikel silika ditentukan oleh proses nukleasi dan pertumbuhan partikel, kedua proses ini dipengaruhi oleh kecepatan hidrolisis dan kondensasi [21].

Selanjutnya, pengujian sifat fotolumines fosfor BCNO/SiO₂ secara kualitatif dilakukan dengan menyinari sampel dengan lampu UV dengan panjang gelombang 365 nm. Pengamatan dilakukan dengan mata dan kamera digital bawaan iPhone 5s. Hasil perekaman citra saat disinari lampu UV dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Citra NPS 1 dari karakterisasi SEM



Gambar 5 Citra sampel fosfor BCNO/SiO₂ ketika disinari UV

Berdasarkan hasil perekaman citra dari sampel, terlihat bahwa sampel 3C memiliki pendaran cahaya yang paling baik diantara sampel-sampel lainnya. Selain sampel 3C, sampel 5C dan 6C juga memberikan pendaran cahaya yang cukup baik. Sampel 3C memberikan pendaran cahaya dengan warna kekuningan, sedangkan sampel 5C dan 6C memberikan pendaran cahaya dengan warna agak putih. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut mengenai cahaya pendaran dari fosfor BCNO/SiO₂, namun dapat dibuat kesimpulan sementara dari hasil uji kualitatif awal ini. Pendaran cahaya warna kuning dari sampel menandakan bahwa puncak dari spektrum emisi sampel 3C berada pada sekitar panjang gelombang 565-590 nm, sedangkan pendaran cahaya warna agak putih dari

sampel 5C dan 6C menandakan bahwa puncak dari spektrum emisi sampel-sampel tersebut berada pada rentang panjang gelombang yang lebih pendek, kemungkinan pada sekitar 435-500 nm (bersesuaian dengan warna biru). Hal ini bersesuaian dengan penelitian-penelitian lain yang telah dilakukan sebelumnya yang menyatakan bahwa penambahan konsentrasi karbon pada fosfor BCNO/SiO₂ menyebabkan pergeseran emisi cahaya pada panjang gelombang yang lebih tinggi [12][13] [23].

Pengaruh ukuran nanopartikel silika terhadap properti fotoluminesensi dari fosfor BCNO/SiO₂ belum dapat untuk disimpulkan dari uji kualitatif awal ini. Berdasarkan hasil perekaman citra awal dengan membandingkan sampel 3C dan 4C, nanopartikel silika NPS 1

memberikan properti fotoluminesens yang lebih baik pada fosfor BCNO/SiO₂ terbentuk. Hal ini cukup bertentangan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan terdahulu. Ukuran silika mempengaruhi luas permukaan dimana semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaannya semakin besar. Luas permukaan yang semakin besar akan mendorong nukleasi yang lebih heterogen [23], pada fosfor BCNO/SiO₂ hal ini dapat membantu dalam proses penyerapan energi dari sumber pengeksitasi dimana silika berfungsi sebagai *sensitizer* pada fosfor. Energi yang diserap ini akan disalurkan kepada elemen pengaktif pada fosfor BCNO/SiO₂ yang nantinya akan berpengaruh pada emisi cahaya yang dihasilkan fosfor. Dengan kata lain, semakin kecil ukuran nanopartikel silika pada fosfor BCNO/SiO₂ seharusnya mengakibatkan properti fotoluminens dari fosfor menjadi semakin baik. Namun demikian, untuk mempelajari hal ini lebih dalam perlu dilakukan analisis lebih lanjut misalnya dengan menggunakan karakterisasi SEM pada sampel.

Sampel 3C, 4C, dan 5C ketiganya merupakan fosfor BCNO/SiO₂ yang menggunakan prekursor pati sebagai sumber karbon. Sampel-sampel lain yang menggunakan prekursor selulosa

sebagai sumber karbon tidak memberikan pendaran cahaya yang cukup memuaskan. Pati dan selulosa keduanya merupakan polimer organik rantai panjang. Analisa mengenai perbedaan fosfor yang dihasilkan dari kedua polimer ini tidak dapat dilakukan hanya dengan uji kualitatif sehingga perlu dilakukan karakterisasi yang lebih mendalam.

4. Simpulan

Sintesis fosfor BCNO/SiO₂ dengan metode sintesis sederhana dan dengan memanfaatkan bahan alam yang mudah didapatkan di Indonesia berhasil dilakukan. Berdasarkan pengujian kualitatif awal, fosfor BCNO/SiO₂ ini cukup menjanjikan untuk menjadi kandidat fosfor alternatif yang bebas dari elemen tanah-jarang. Namun demikian perlu dilakukan karakterisasi material dan pengujian lebih lanjut untuk melihat performa fosfor BCNO/SiO₂ ini dalam aplikasinya sebagai lampu LED putih.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini, terutama kepada pihak Beasiswa Unggulan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia serta Departemen Teknik Fisika ITB atas bantuan dana pendidikan dan penelitian.

6. Referensi

1. Ye, S., Xiao, F., Pan, Y. X., Ma, Y. Y., & Zhang, Q. Y. (2010). Phosphors in phosphor-converted white light-emitting diodes: Recent advances in materials, techniques and properties. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 71(1), 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2010.07.001>
2. Ohno, Y. (2004). Color rendering and luminous efficacy of white LED spectra, 5530, 88. <https://doi.org/10.1117/12.565757>
3. Pan, Y., Wu, M., & Su, Q. (2004). Comparative investigation on synthesis and photoluminescence of YAG:Ce phosphor. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 106(3), 251–256. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2003.09.031>
4. Ogi, T., Kaihatsu, Y., Iskandar, F., Wang, W. N., & Okuyama, K. (2008). Facile synthesis of new full-color-emitting BCNO phosphors with high quantum efficiency. *Advanced Materials*, 20(17), 3235–3238.
5. Wang, W. N., Kaihatsu, Y., Iskandar, F., & Okuyama, K. (2009). Chemical and photoluminescence analyses of new carbon-based boron oxynitride phosphors. *Materials Research Bulletin*, 44(11), 2099–2102. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2009.07.007>
6. Faryuni, I. D., Nuryadin, B. W., Iskandar, F., Abdullah, M., Khairurrijal, Ogi, T., & Okuyama, K. (2014). Synthesis and photoluminescence of BCNO/SiO₂ nanocomposite phosphor materials. *Journal of Luminescence*, 148, 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2013.12.033>
7. Alfatika, R., Nuruddin, A., Sunendar, B., *Preparasi Fosfor Boron Carbon Oxynitride Silica untuk Aplikasi Emisi Cahaya Putih pada Light Emitting Diode*, Tugas Sarjana, Fisika Teknik ITB, Bandung: 2013.
8. Nuryadin, B. W., Pratiwi, T. P., Iskandar, F., Abdullah, M., Khairurrijal, K., Ogi, T., & Okuyama, K. (2014). Photoluminescence optimization of BCNO phosphors synthesized using citric acid as a carbon source. *Advanced Powder Technology*, 25(3), 891–895. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2014.01.003>
9. Satria, D., Sunendar, B., *Modifikasi Morfologi Fosfor Boron Carbon Oxynitride Silica untuk Aplikasi*

- Aplikasi White Light Emitting Diode*, Tugas Sarjana, Teknik Material ITB, Bandung: 2015
10. Yudhistira, Y., Sunendar, B., *Optimasi Morfologi dan Sifat Fotoluminesens Fosfor BCNO untuk Aplikasi Lampu LED Putih*, Tugas Sarjana, Teknik Material ITB, Bandung: 201
 11. Adinegoro, D., Sunendar, B., *Pemanfaatan Selulosa dari Ampas Tebu sebagai Sumber Karbon pada Sintesis Fosfor BCNO Silika untuk Pembuatan Lampu LED Putih*, Tugas Sarjana, Teknik Material ITB, Bandung: 2017.
 12. Kaihatsu, Y., Wang, W.-N., Iskandar, F., Ogi, T., & Okuyama, K. (2010). Effect of the Carbon Source on the Luminescence Properties of Boron Carbon Oxynitride Phosphor Particles. *Journal of The Electrochemical Society*, 157(10), J329. <https://doi.org/10.1149/1.3474941>
 13. Nuryadin, B. W., Faryuni, I. D., Iskandar, F., Abdullah, M., & Khairurrijal. (2011). Effect of silica nanoparticles on the photoluminescence properties of BCNO phosphor. *AIP Conference Proceedings*, 1415, 171–174. <https://doi.org/10.1063/1.3667249>
 14. Nuryadin, B. W., Pratiwi, T., Faryuni, I. D., & Iskandar, F. (2015). carbon source Preliminary Study on Preparation of BCNO Phosphor Particles Using Citric Acid as Carbon Source, 30011. <https://doi.org/10.1063/1.4917100>
 15. Yan, S., Zhang, X., Lu, Z., Yu, M., Xu, X., Lin, J., ... Tang, C. (2014). Facile synthesis and photoluminescent properties of BCNO phosphors for white light emitting diodes application. *Ceramics International*, 40(5), 7617–7620. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.12.020>
 16. Chu, Z., Kang, Y., Jiang, Z., Li, G., Hu, T., Wang, J., ... Wang, X. (2014). Graphene oxide based BCNO hybrid nanostructures: tunable band gaps for full colour white emission. *RSC Adv.*, 4(51), 26855–26860. <https://doi.org/10.1039/C4RA02775B>
 17. Singh, R., Mathur, A., Goswami, N., & Mathur, G. (2016). Effect of carbon sources on physicochemical properties of bacterial cellulose produced from *Gluconacetobacter xylinus* MTCC 7795. <https://doi.org/10.1515/epoly-2016-0047>
 18. Poletto, M., Ornaghi Júnior, H. L., & Zattera, A. J. (2014). Native

- cellulose: Structure, characterization and thermal properties. *Materials*, 7 (9), 6105–6119. <https://doi.org/10.3390/ma7096105>
19. Michell, A. J., Of, F. T. R. S., & Celluloses, N. (1990). 53 second-derivative, *197*, 53–60.
 20. Yang, H. (2007). Characteristics of hemicellulose , cellulose and lignin pyrolysis, *86*, 1781–1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
 21. Qi, D., Lin, C., Zhao, H., Liu, H., & Lü, T. (2016). Size Regulation and Prediction of the SiO₂ Nanoparticles Prepared Via Stöber Process, *2691* (January). <https://doi.org/10.1080/01932691.2016.1143373>
 22. Zhang, X., Li, Y., Yu, J., Yu, Y., Jia, X., Li, L., ... Liu, H. (2017). Effects of chemical bonds on luminescence properties of BCNO phosphors with yellow and orange emission. *Journal of Luminescence*, *192*(October 2016), 1033–1039. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2017.08.048>
 23. Wang, W., Widiyastuti, W., Lenggoro, I. W., Kim, O., & Okuyama, K. (2007). Photoluminescence Optimization of Luminescent Nanocomposites Fabricated by Spray Pyrolysis of a Colloid-Solution Precursor, 121–128. <https://doi.org/10.1149/1.2435698>